

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže



Testy keramických řezných nástrojů TaeguTec na materiálu
13MoCrV6 na simulátoru přerušovaného řezu

TaeguTec Ceramic Cutting Tools on material 13MoCrV6 with an
Interrupted Cut Simulator

Student:

Rostislav Dobrozemský

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Rostislav Dobrozemský**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Testy keramických řezných nástrojů TaeguTec na materiálu 13MoCrV6
na simulátoru přerušovaného řezu
TaeguTec Ceramic Cutting Tools on Material 13MoCrV6 with an
Interrupted Cut Simulator

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Rozdělení a typy keramických řezných nástrojů.
3. Experimentální testování nástrojů.
4. Vyhodnocení testů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NESLUŠAN, Miroslav; TUREK, Stanislav; BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; TABAČEK, Marian. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; SADÍLEK, Marek; PETŘKOVSKÁ, Lenka; NOVÁKOVÁ, Jana. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] VASILKO, Karol; HAVRILA, Michal; MARCINCIN-NOVÁK, Jozef; MÁDL, Jan; ZAJAC, Jozef. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80-968954-2-7.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**


Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry






prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě20.5.2011.....

.....
Rostislav Dobrozemský

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:20.5.2011.....

.....
Rostislav Dobrozemský

Rostislav Dobrozemský

Plinkout 48

78386 Dlouhá Loučka

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

DOBROZEMSKÝ, R. *Testy keramických řezných nástrojů TaeguTec na materiálu 13MoCrV6 na simulátoru přerušovaného řezu*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2011, 47 s.
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Robert ČEP, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá testováním řezných nástrojů na simulátoru přerušovaného řezu. V úvodu práce je rozvedena problematika rozdělení a typy keramických řezných nástrojů, včetně jejich výroby a použití. Experimentální část se skládá z popisu přípravku, který slouží na testování v přerušovaném řezu při podélném soustružení. K testování byli použity 2 druhy keramických řezných destiček od firmy TaeguTec. Materiál vložený do přípravku byla ocel 15 128 (13MoCrV6). Poslední část práce je zaměřena na zhotovení tabulek obsahující hodnoty z testování za různých řezných parametrů, vypracování grafů, porovnání jednotlivých destiček a následné vyvození závěru.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

DOBROZEMSKÝ, R. *TaeguTec Ceramic Cutting Tools on Material 13MoCrV6 with an Interrupted Cut Simulator*. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of machining and assembly, 2011, 47 p.
Head of bachelor thesis: Ing. Robert ČEP, Ph.D.

Bachelor thesis deals with the testing of cutting tools in Interrupted Cut Simulator. In the beginning is distributed allocation problems and types of ceramic cutting tools, including their production and use. The experimental part consists of a description of the preparation, which is used to test for intermittent cutting lathes. The tests were used two types ceramic cutting plates from company TaeguTec. The material was embedded in the preparation steel 15 128 (13MoCrV6). The last part is focused on preparing tables containing values of the tests at different cutting parameters, preparation of charts, comparison of plates and subsequent conclusions.

OBSAH

	strana
SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ, SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	8
1. Úvod	10
2. Rozdělení a typy keramických řezných nástrojů.....	11
2.1 Řezná keramika	11
2.1.1 Definice řezné keramiky	11
2.1.2 Historie řezné keramiky	11
2.1.3 Výchozí materiály pro řeznou keramiku	12
2.1.4 Dělení řezné keramiky	13
2.1.5 Vlastnosti řezné keramiky	14
2.1.6 Porovnání jednotlivých typů řezné keramiky	14
2.1.7 Výroba řezné keramiky	16
2.1.8 Obecný postup výroby keramických materiálů:	17
2.1.9 Povlakování řezné keramiky	18
2.1.10 Princip, výhody a porovnání jednotlivých metod povlakování	18
2.1.11 Fotografie strukturního složení keramických destiček	21
2.1.12 Trh s keramikou	22
2.2 Opotřebení řezných nástrojů	22
3. Experimentální testování nástrojů	26
3.1 Test VBD podélným soustružením (lišťový test)	26
3.1.1 Sestavení přípravku	27
3.1.2 Úprava lišt před měřením	27
3.2 Materiál vyměnitelných lišt	28
3.3 Obráběcí stroj	29
3.4 Vyhodnocovací zařízení	29
3.5 Řezné parametry	30
3.6 Testované materiály VBD	31
3.7 Řezná geometrie	32
4. Vyhodnocení testů	33
4.1 Sledování počtu rázů	33
4.2 Vyhodnocení testů jednotlivých destiček	34

4.2.1	Testované VBD AW20	34
4.2.2	Testované VBD AB30	36
4.3	Fotografie testovaných destiček	38
5.	Porovnání a zhodnocení všech testovaných VBD	42
6.	Závěr	44
7.	Použitá literatura:	46

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ, SYMBOLŮ A ZKRATEK

ZNAČKA	VÝZNAM	JEDNOTKA
A5	Tažnost krátké tyče (dle EN 10002)	[%]
AB30	Druh černé oxidové řezné keramiky od výrobce TaeguTec	[-]
AW20	Druh bílé oxidové řezné keramiky od výrobce TaeguTec	[-]
CVD	Chemická depozice z plynné fáze	[-]
E	Modul pružnosti	[MPa]
HB	Tvrdost podle Brinnela	[-]
HIP	Vysokoteplotní izostatické lisování	[-]
HV	Tvrdost podle Vickerse	[-]
PACVD	Chemická depozice z plynné fáze pomocí plazmy	[-]
PVD	Fyzická depozice z plynné fáze	[-]
R	Počet rázů	[-]
R _m	Mez pevnosti	[MPa]
R _{p 0,2}	Smluvní mez kluzu při prodloužení 2%	[MPa]
ŘK	Řezná keramika	[-]
SK	Slinutý karbid	[-]
VB	Opotřebení na hřbetě	[mm]
VBD	Vyměnitelná břitová destička	[-]
Whisker	Krystalické vlákno s vysokým poměrem délky k tloušťce	[-]

a_p	Hloubka řezu	[mm]
f	Posuv nástroje	[mm]
l	Obrobená délka	[mm]
v_c	Řezná rychlost	$[m \cdot min^{-1}]$

1. Úvod

Práce s nástroji z řezné keramiky v přerušovaném řezu je méně častá než v nepřerušovaném, nicméně v dnešní době mají řezné nástroje z keramiky natolik dobré vlastnosti, že umožňují práci i v přerušovaném řezu. Řezná keramika má menší houževnatost než např. rychlořezné oceli nebo slinuté karbidy, ale skrze vysokou tvrdost za tepla a vysokou termochemickou stabilitu nachází významné uplatnění v nejrozšířenějších metodách obrábění, tj. soustružení (nepřerušovaný řez) a frézování (přerušovaný řez). Používá se tedy výhradně při vysokých řezných rychlostech a nižších posuvových rychlostech.

Snaha lidstva je zlepšovat vlastnosti nejen řezné keramiky, ale všech obráběcích nástrojů za účelem zvyšování houževnatosti a tvrdosti materiálu a tím tvořit tzv. „materiály budoucnosti“. Zlepšováním vlastností materiálů řezných nástrojů se zvyšují řezné parametry, ale i oblast jejich použití.

Tato práce je zaměřena na soustružení v přerušovaném řezu na speciálním přípravku vyrobeném za účelem testování řezných nástrojů. Cílem práce je určení trvanlivosti a životnosti VBD z řezné keramiky z vyhodnocených počtu rázů na obrobené délce (vyměnitelných lišt vložených v přípravku) za různých řezných podmínek do doby, než se VBD opotřebí. Dále destičky porovnat, zpracovat výsledky a vyhodnotit nejvhodnější destičku pro použití v přerušovaném řezu. Vyberou se 2 druhy řezných destiček od firmy TaeguTec a ty budou testovány v podmínkách přerušovaného řezu. K měření a vyhodnocení výsledků budou použity speciální přístroje v katedře obrábění a montáže.

2. Rozdělení a typy keramických řezných nástrojů

2.1 Řezná keramika

2.1.1 Definice řezné keramiky

Moderní definicí je keramika obecně charakterizována jako převážně krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Do této definice patří tradiční keramika (porcelán, cement, cihly), ale i brousicí materiály a nové keramické látky (konstrukční, keramická, strojírenská apod.). Do těchto keramických látek patří např. oxidová keramika (Al_2O_3 , ZrO_2 , ThO_2 , BeO , MgO , UO_2), ferity, nitridy (na bázi Si, B, Al), karbidy (na bázi Si, B), boridy (na bázi Ti) a další. Tyto „nové“ keramiky jsou krystalické látky oproti tradiční keramice (porcelán, glazury a jiné), která obsahuje i skelní (amorfní) fázi. Keramické látky jsou vázány meziatomovými vazbami iontovými a kovalentními a v její vazbě se vyskytují obě tyto vazby současně. Základní charakteristickou vlastností těchto „nových“ keramik je jejich výroba z poměrně čistých surovin a často z čistých výchozích chemikálií, jako keramika syntetická. Krystalové mřížky keramických materiálů jsou kubické a hexagonální [3].

2.1.2 Historie řezné keramiky

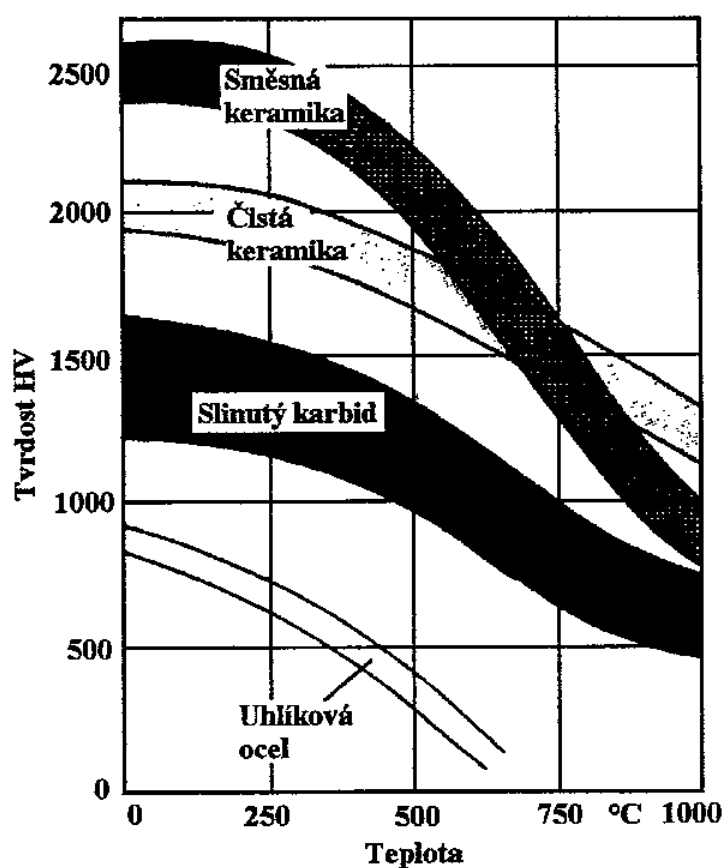
Při opomenutí prvních keramických nástrojů, které používali lidé již v době kamenné a počátečních úvah o využití keramiky Al_2O_3 pro výrobu řezného nástroje od roku 1905 byl v Německu vyroben první použitelný řezný materiál na bázi Al_2O_3 německou firmou Degussa již během 2. Světové války při výzkumných pracích zaměřených na náhradu slinutých karbidů typu WC-Co. Tomuto materiálu však doba nepřála a kvůli nízké houževnatosti a velkému rozptylu vlastností se dál nešířil. Keramika na bázi Al_2O_3 se začala intenzivně rozšiřovat teprve koncem 50. let a to díky snaze získat jemnozrnnou strukturu, větší pevnost v ohybu a odolnost proti tepelným rázům. S tímto vývojem vzrostl i počet vyráběných strojů s vyšší tuhostí, s vysokými otáčkami včetně a s potřebným výkonem pohonů. S postupem času se zlepšovali vlastnosti keramiky na bázi Al_2O_3 , např. v 70. letech se podařilo zvýšit ohybovou pevnost řezné keramiky z původních 400 – 500 MPa na 1000 MPa a značně zvýšit i lomovou houževnatost. Kromě této keramiky vznikla i keramika vyztužená whiskery SiC , u které se zvýšila lomová houževnatost na dvojnásobek a taktéž vznikla neoxidická keramika na bázi nitridu křemíku Si_3N_4 [3].

2.1.3 Výchozí materiály pro řeznou keramiku

K výrobě řezných keramik se používají především oxidy Al_2O_3 , Y_2O_3 , ZrO_2 , karbidy TiC , TiN a nitrid Si_3N_4 . Jsou to chemicky stabilní látky s vysokou tvrdostí, tlakovou pevností a odolností proti vysokým teplotám [3].

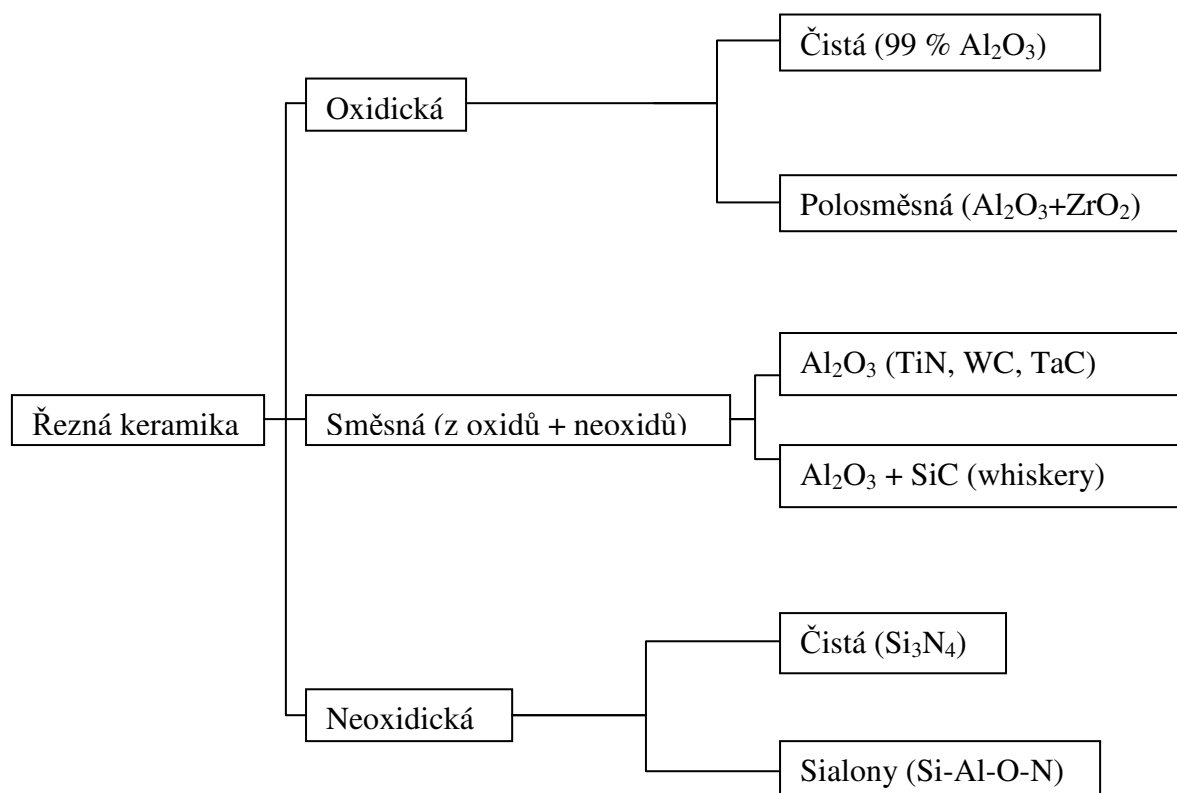
Tab. 2.1 Vybrané vlastnosti řezných keramik [3]

Materiál	Teplota tavení [°C]	Tvrdost [HV]
Al_2O_3	2050	2000
ZrO_2	2700	
Si_3N_4	1900	1000
SiC	2200	2500



Obr. 2.1 Graf ukazující vliv teploty na tvrdost řezné keramiky [5]

2.1.4 Dělení řezné keramiky



Obr. 2.2 Schéma dělení řezné keramiky [5]

Oxidická – tento druh řezné keramiky patří k nejstarším. Je tvořena velmi čistým a jemnozrnným oxidem hlinitým Al₂O₃. K zabránění růstu zrn a usnadnění slinování se přidávají ještě pomocné látky jako např. oxidy zirkonia, yttria, chromu, titanu, niklu, hořčíku, kobaltu apod [5].

Směsná – tvořena směsí oxidu hlinitého Al₂O₃ a neoxidických materiálů jako např. TiC a TiN. Do této skupiny patří i speciální druh keramiky vyztužené tenkými monokrystalickými vlákny tzv. whiskery. Právě tento druh vláken zaručuje u této keramiky téměř ideální pevnost v tahu (řádově E/10 ± 50%) [5].

Neoxidická – nebo též nazývaná Nitridová na bázi nitridu křemíku Si₃N₄ existuje již od roku 1970 a není vhodná pro obrábění oceli kvůli nízké chemické stabilitě stejně tak jako směsná keramika na bázi Al₂O₃ + SiC. Sialonové keramiky se liší především krystalovou mřížkou, kde je nahrazen dusík N₃₋ kyslíkem O₂₋ a křemík Si₄₊ hliníkem Al₃₊ při zachování nábojové neutrality a chemickými vlastnostmi [5].

2.1.5 Vlastnosti řezné keramiky

Všeobecné vlastnosti:

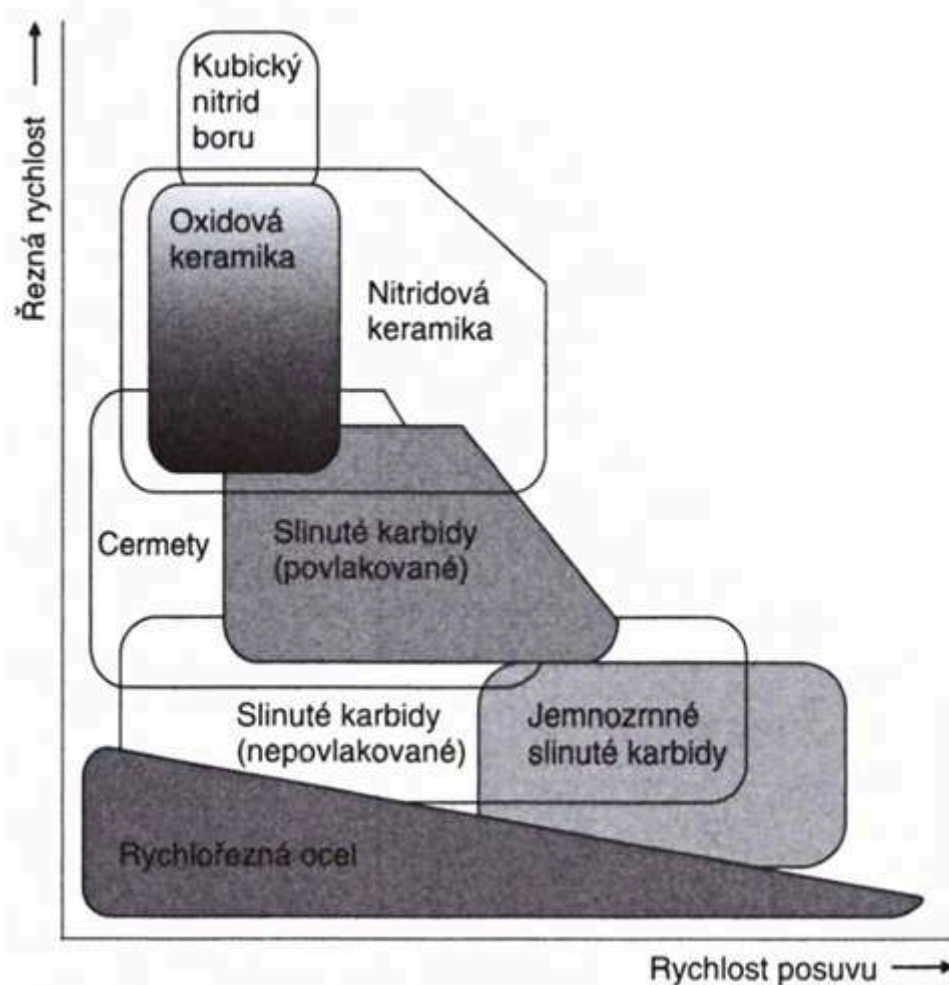
- poměrně nízká cena
- vysoká tvrdost
- odolnost proti působení vysokých teplot (a to i u nejlepších materiálů a procesům s náhlou změnou teploty)
- odolnost proti mechanickému namáhání (především tlak)
- dostupnost základních surovin z domácích zdrojů
- nízká měrná hmotnost
- chemická stálost (nereagují chemicky s materiálem obrobku)
- keramické destičky do obráběcích nástrojů umožňují delší životnost a vyšší obráběcí rychlosti ve srovnání s ocelí
- nedoporučuje se chlazení kapalinou

2.1.6 Porovnání jednotlivých typů řezné keramiky

Oxidická – obrábění ocelových materiálů při vysokých teplotách, např. zakalených. Mají nízkou houževnatost a odolnost proti rázům, vysokou odolnost proti opotřebení při obrábění vysokými řeznými rychlostmi a chemickou stálost.

Směsná – dobrá tepelná vodivost, odolnost proti tepelným rázům a vyšší pevnost v ohybu.

Neoxidická – při obrábění má vyšší lomovou houževnatost než oxidická směsná, vyšší tepelnou vodivost a menší citlivost na tepelné rázy, což umožňuje výrazné zvýšení posuvů, obrábění přerušovaným řezem a případné chlazení řeznou kapalinou.



Obr. 2.3 Srovnání řezných materiálů: Řezná rychlost & rychlost posuvu [12]

Tab. 2.2 Vlastnosti řezných keramik [5]

Materiál	Tvrdost [GPa]	Modul pružnosti v tahu [GPa]	Lomová houževnatost [MPa·m ^{1/2}]	Součinitel délkové roztlačnosti [10 ⁻⁶ · K ⁻¹]	Měrná tepelná vodivost [W · m ⁻¹ · K ⁻¹]
Al ₂ O ₃	17,2	400	4,3	8,0	10,5
Al ₂ O ₃ +ZrO ₂	16,5	390	6,5	8,5	8,0
Al ₂ O ₃ +TiC	20,6	420	4,5		13,0
Sialon	15,6	300	6,5	3,1	9,7

Tab. 2.3 Použití řezných keramik v oblasti obrábění [1]

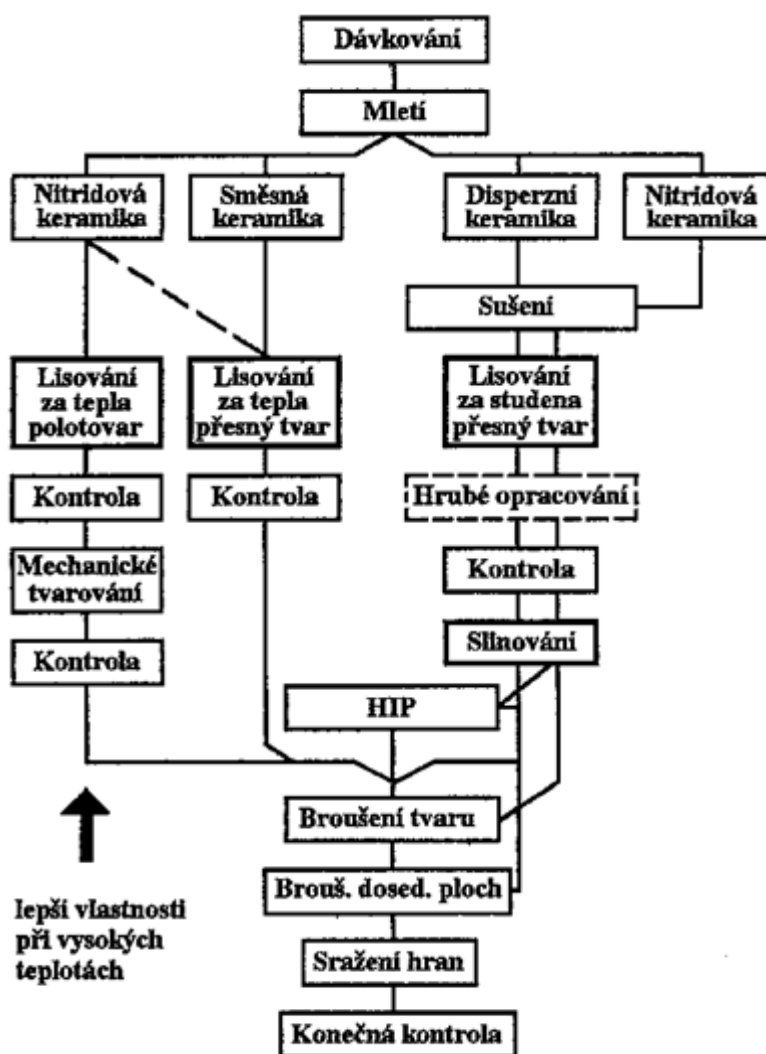
materiál	Použití
Al_2O_3	Běžné soustružení, vrtání a drážkování litiny.
$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiC}_w$	Obrábění žáruvzdorných slitin. Hrubování a jemnění superslitin, oceli a litiny. Přerušované řezy.
$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$	Soustružení tvrdé slitiny zušlechťených ocelí do tvrdosti 64 HRC na velmi jemný povrch. Běžné soustružení, vrtání a drážkování litiny. Dokončovací obrábění žáruvzdorných superslitin, litin a ocelí.
$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$	Soustružení šedé, tvárné a kujné litiny vytvrzené na 300 HB. Obrábění uhlíkové, legované a nástrojové oceli vytvrzené na 38 HRC.
Sialony	Litina při vysokých rychlostech. Hrubé obrábění superslitin na bázi niklu pro letecké motory a pro použití v agresivním prostředí. Řezy vyžadující vysoký posuv, rychlost nebo hloubku.
Si_3N_4	Hrubé soustružení a frézování litiny v těžkých podmínkách. Soustružení žáruvzdorných slitin na bázi niklu.

2.1.7 Výroba řezné keramiky

Výrobní proces je podobný procesu výroby slinutých karbidů avšak s rozdílem podstatně vyšších nároků na výrobní zařízení. Keramické materiály totiž neobsahují žádný materiál jehož funkcí by bylo spojení jednotlivých zrn tvrdé fáze do jednolitého tělesa. Mikrostrukturu a slinovatelnost v průběhu slinování lze ovlivnit přidáním zásad, které vytváří kapalnou fázi. Tím se dosáhne hustějšího uspořádání částic, rychlejšího a lepšího zhutnění výrobku. Velikost zrn keramických prášků a aditiv je cca 200 nm [4] .

2.1.8 Obecný postup výroby keramických materiálů:

- příprava práškové směsi
- mletí
- míchání
- tvarování
- sušení
- předslinování
- slinování
- úpravy povrchu



Obr.2.4 Schéma postupu výroby řezné keramiky [5]

2.1.9 Povlakování řezné keramiky

Není tak časté jako např. u slinutých karbidů, ale přesto se používá za účelem zvýšení houževnatosti (pomocí snížení šíření mikrotrhlinek základního materiálu) nebo zvýšení otěruvzdornosti řezných hran. Nanášená vrstva může být z karbidů nebo nitridů (např. TiN, TiCN) nebo povlak Al_2O_3 na základní materiál Si_3N_4 . Nejčastěji se používá metoda chemického povlakování CVD (Chemical Vapour Deposition). Méně často se používá metoda PVD (Physical Vapour Deposition) nebo metoda PACVD (Plasma Assisted-CVD) [4].

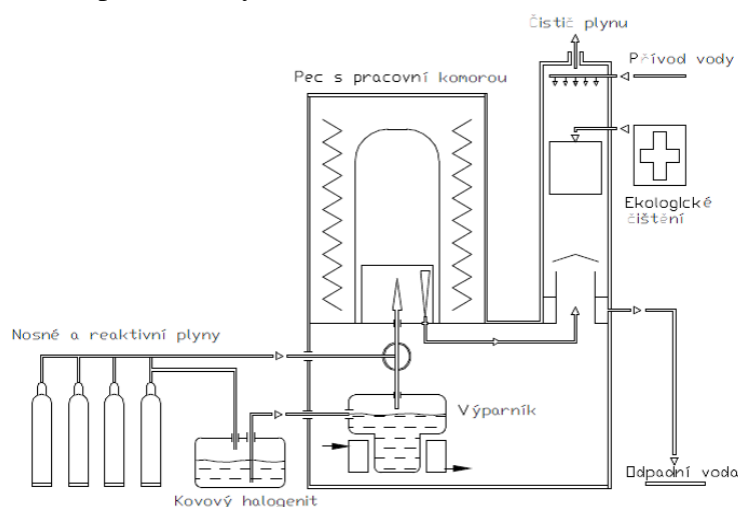
2.1.10 Princip, výhody a porovnání jednotlivých metod povlakování

CVD (Chemical Vapour Deposition)

Povlakovaný předmět je ohříván ve směsi plynů, (např. H_2 , CO_4 , Ar, H_2 , atd..) a tyto plyny reagují na povrchu daného předmětu. Touto reakcí se vytvoří pevná vrstva požadované látky (např. Al_2O_3 , TiC, TiCN při teplotě 1100°C). Vznik bariérové vrstvy odolné proti difúzi nebo tvrdé otěruvzdorné vrstvy zajišťuje plazmová polymerace umožňující z plynných uhlovodíků nanášet polymerní vrstvy [12].

Technické specifikace CVD metody:

- energie: teplotní
- teplota: 800 až 1100°C
- tloušťka vrstvy $8\text{--}16\ \mu\text{m}$
- TiN, TiCN, Al_2O_3
- frézování, nepřerušovaný řez



Obr. 2.5 Schéma povlakování metodou CVD [4]

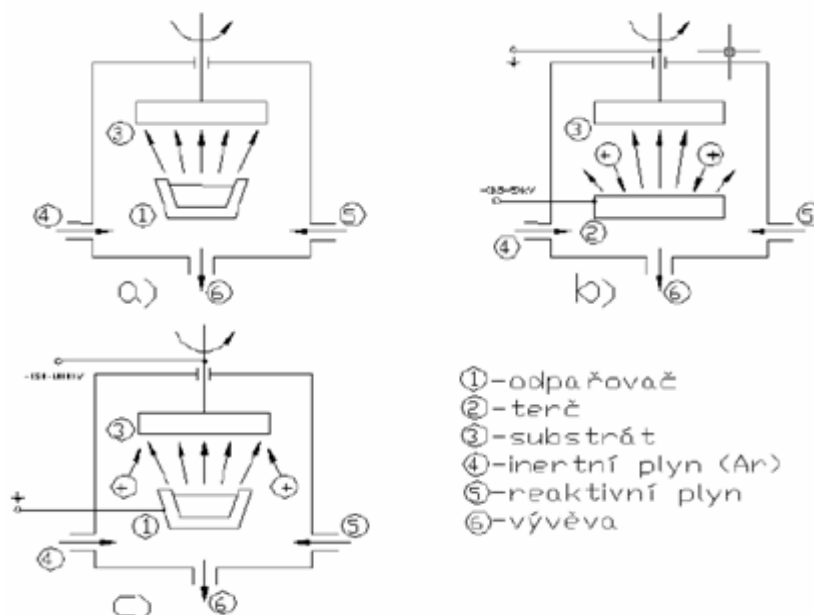
PVD (Physical Vapour Deposition)

Tato metoda tzv. iontové plátování dovoluje efektivně nanášet povlaky rozmanitého složení, vynikajících mechanickým vlastností a atraktivního vzhledu i na tepelně zušlechtěné materiály, nebo dokonce i na plasty. Princip spočívá v nanesení látky do plynného skupenství přivedené fyzikálním procesem (odpařováním či rozprašováním) přímo ve vakuové komoře v průběhu povlakování. U iontového plátování dopadají ionty z plazmatu i na povlakovaný předmět. Metodou PVD vzniká ostřejší břit než metodou CVD. Podle způsobu uvolňování atomů nanášené látky do plynného skupenství se dělí iontového plátování na [12]:

- napařování s přídavnou ionizací
- obloukové napařování
- magnetronové napařování

Technické specifikace PVD metody:

- energie: plazma, bias
- teplota: 250 až 550 °C
- tloušťka vrstvy 2-8 μm
- magnetron, oblouk, napařování
- TiN, TiAlN + Me, TiCN, CrN, AlCrN + Me
- frézování, přerušované řezy



Obr. 2.6 Schéma povlakování metodou PVD (a-napařování, b-naprašování, c-iontové plátování) [4]

PACVD (Plasma Assisted-CVD)

Povlakování se koná za mnohem nižších teplot než u konvenčních CVD technik. Plazmou aktivovaný CVD proces umožňuje snížit teplotu potřebnou pro vznik vrstvy na povrchu substrátu na $470 \div 530^\circ\text{C}$. Nástroje jsou povlakovány až po konečném zušlechťení na požadovanou tvrdost a v průběhu povlakování nedochází k rozměrovým změnám. Touto metodou lze povlakovat i dutiny a tyto povlaky se vyznačují extrémně nízkým koeficientem tření (až 0,1). Technologie PACVD se skládá ze 3 kroků [12]:

- Iontové čištění povrchu
- Plazmová nitridace povrchu
- Nanesení povlaku

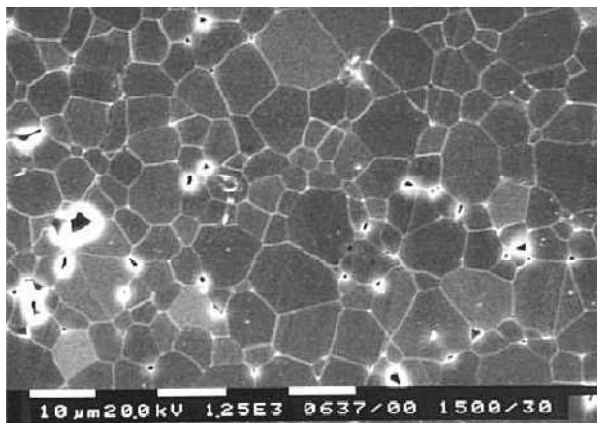
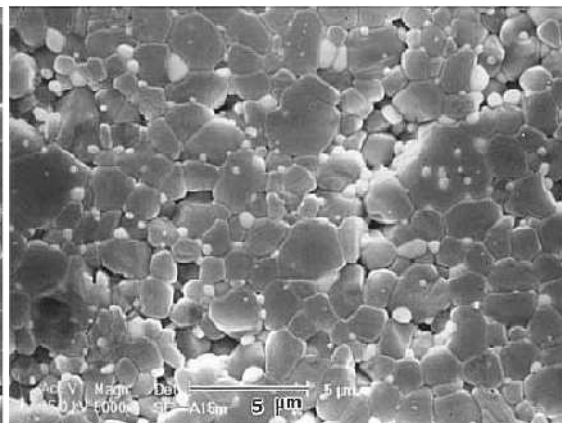
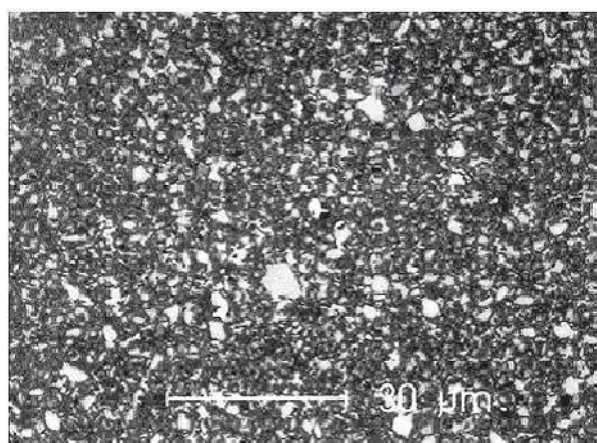
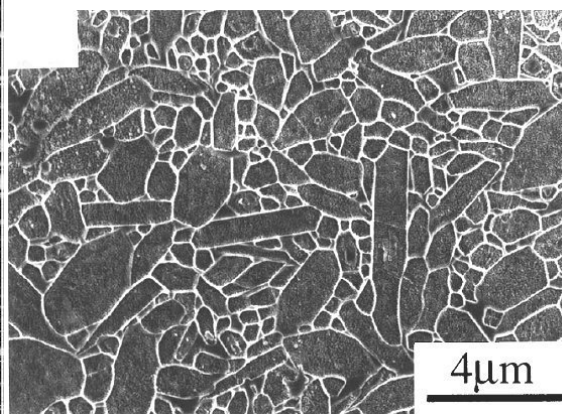
Technické specifikace PACVD metody:

- tloušťka vrstvy - podle druhu povlaku od 2-16 μm
- TiCN+TiN, TiBN+TiB₂, Al₂O₃
- frézování, nepřerušovaný řez, formy, kalibry, atd

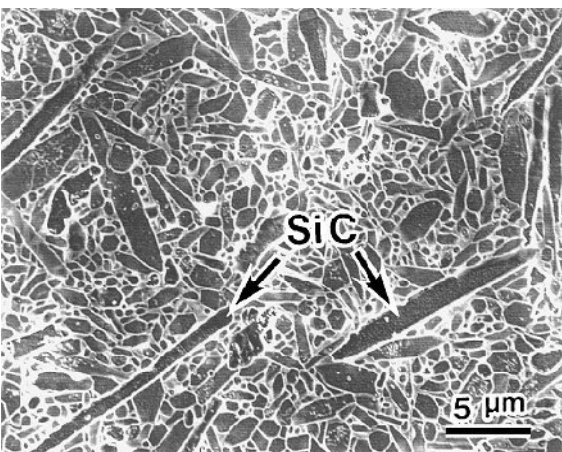
Tab. 2.4 Porovnání technologických parametrů povlakovacích metod [12]

Technologie povlakování	Teplota	Tlak	Rotace	Drsnost povrchu
CVD (Chemical Vapor Deposition)	800-1100 °C	atmosférický	Ne	Největší
PVD (Physical Vapor Deposition)	250-550 °C	~ 1 Pa	Ano	Střední
PACVD (Plasma Assisted-CVD)	~ 500 °C	~ 200 Pa	Ne	Nejnižší

2.1.11 Fotografie strukturního složení keramických destiček

Keramika Al_2O_3 [2]Keramika $\text{Al}_2\text{O}_3+15\%\text{ZrO}_2$ [2]Keramika $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$ [2]Keramika Si_3N_4 [2]

Keramika typu sialon [2]

Keramika Si_3N_4 vyztužená SiCw [2]

2.1.12 Trh s keramikou

Počet výrobků vyrobených z keramiky neustále roste a s nimi i náklady spojené na jejich výrobu. Z tab. 2.7 lze vidět, že řezná keramika zaujímala důležité místo na trhu již v dřívějších letech.

Tab.2.7 Trh s keramikou [3]

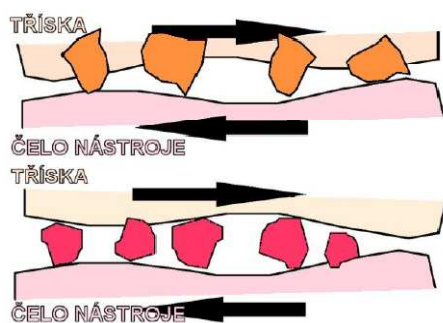
Odvětví	Milióny dolarů v roce			
	1977	1986	1991	1995
Elektronika	813	4 808	10 820	21 375
Řezné nástroje	58	433	885	1 625
Tepelné motory	0	0	80	675
Ostatní	34	167	329	825
Celkem	905	5 408	12 114	24 500

2.2 Opotřebení řezných nástrojů

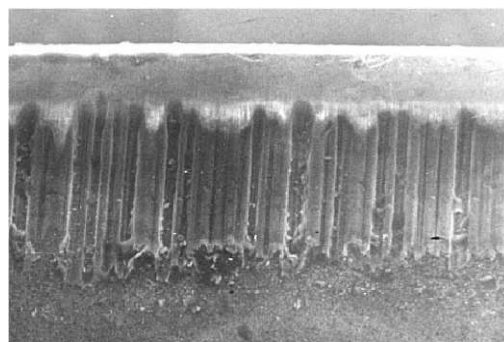
V důsledku řezného procesu, kdy je v kontaktu nástroj s obrobkem dochází vlivem fyzikálních a především mechanických účinků k různým formám opotřebení bříty nástroje. Opotřebení je tedy běžným důsledkem funkce všech strojních součástí, které jsou ve vzájemném kontaktu a relativním pohybu [4] .

2.2.1 Druhy opotřebení [2]:

abraze – vlivem tvrdých mikročástic obráběného materiálu i mikročástic uvolněných z nástroje vzniká tzv. brusný otěr.



Obr. 2.1 Schéma abraze [2]



Obr. 2.2 Abrazně opotřebovaný nástroj z ŘK [2]

adheze - vznik a okamžité následné porušování mikrosvarových spojů na stýkajících se vrcholcích nerovností čela a třísky, v důsledku vysokých teplot a tlaků, chemické příbuznosti materiálů a kovově čistých styčných povrchů.



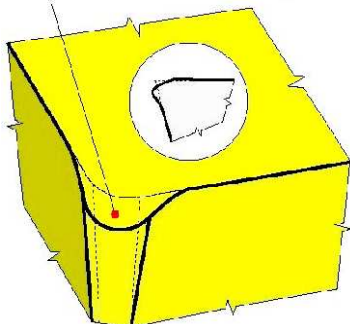
Obr. 2.3 Schéma adheze [2]

difúze - migrace atomů z obráběného do nástrojového materiálu a naopak, a z ní vyplývající vytváření nežádoucích chemických sloučenin ve struktuře nástroje.

oxidace - vznik chemických sloučenin na povrchu nástroje v důsledku přítomnosti kyslíku v okolním prostředí.

plastická deformace - důsledek vysokého tepelného a mechanického zatížení. Může se ve svém nejnejpříznivějším důsledku projevit ve formě tzv. lavinového opotřebení.

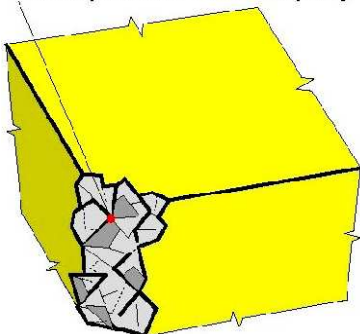
Plastická deformace špičky



Obr. 2.4 Deformace špičky nástroje [2]

křehký lom - důsledek vysokého mechanického zatížení, např. přerušovaný řez, nehomogenita materiálu a vměstky v obráběném materiálu.

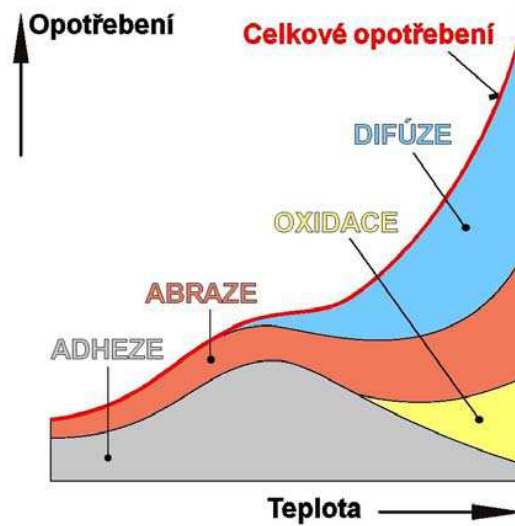
Křehké porušení v oblasti špičky



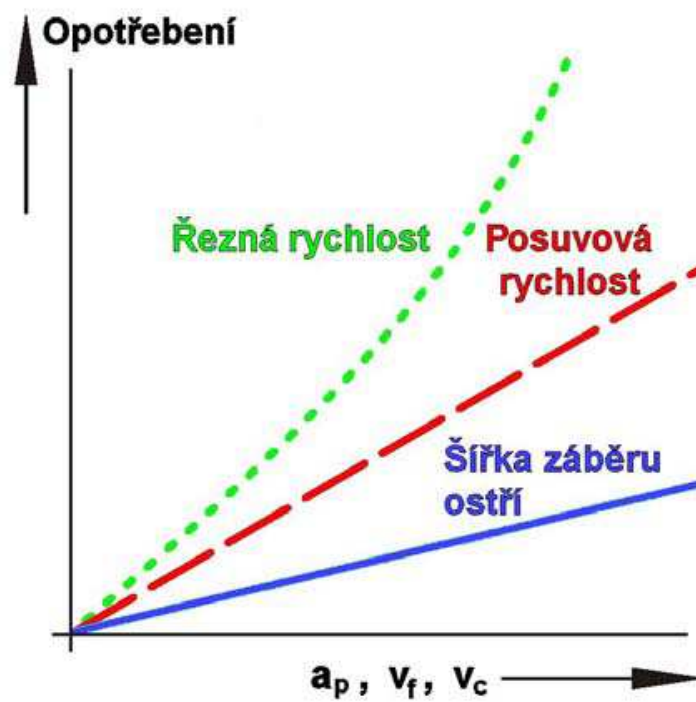
Obr. 2.5 Schéma křehkého lomu [2]



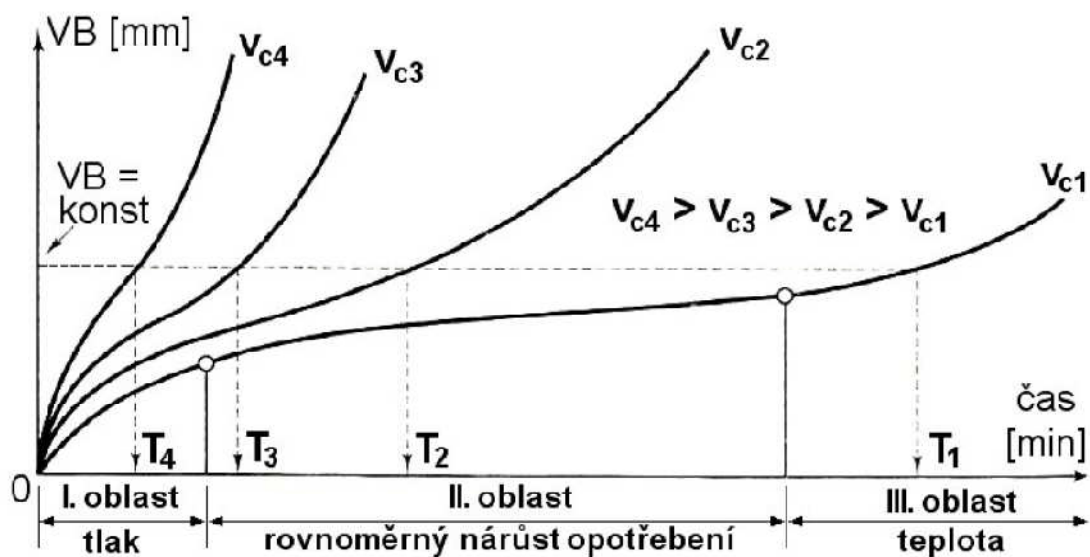
Obr. 2.6 Křehký lom na nástroji z řezné keramiky $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ [2]



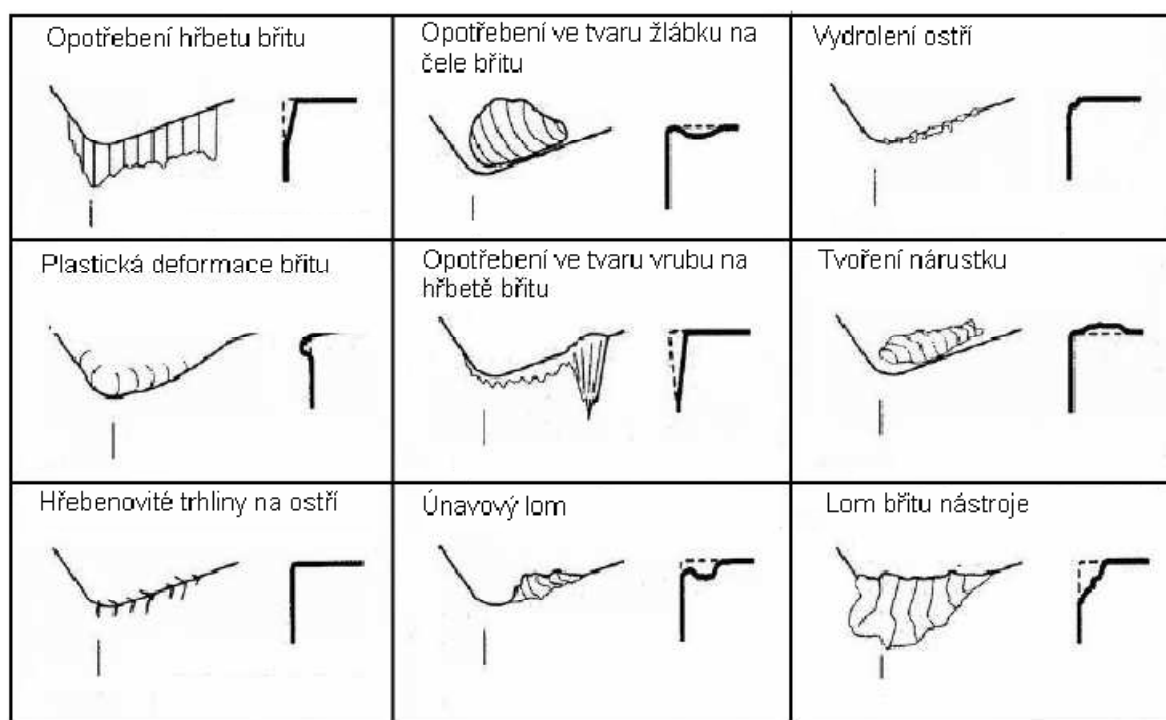
Obr. 2.7 Graf vlivu teploty na jednotlivé mechanismy opotřebení [2]



Obr. 2.8 Graf vlivu řezných podmínek na opotřebení [2]



Obr. 2.9 Graf časové závislosti opotřebení pro různé řezné rychlosti [2]

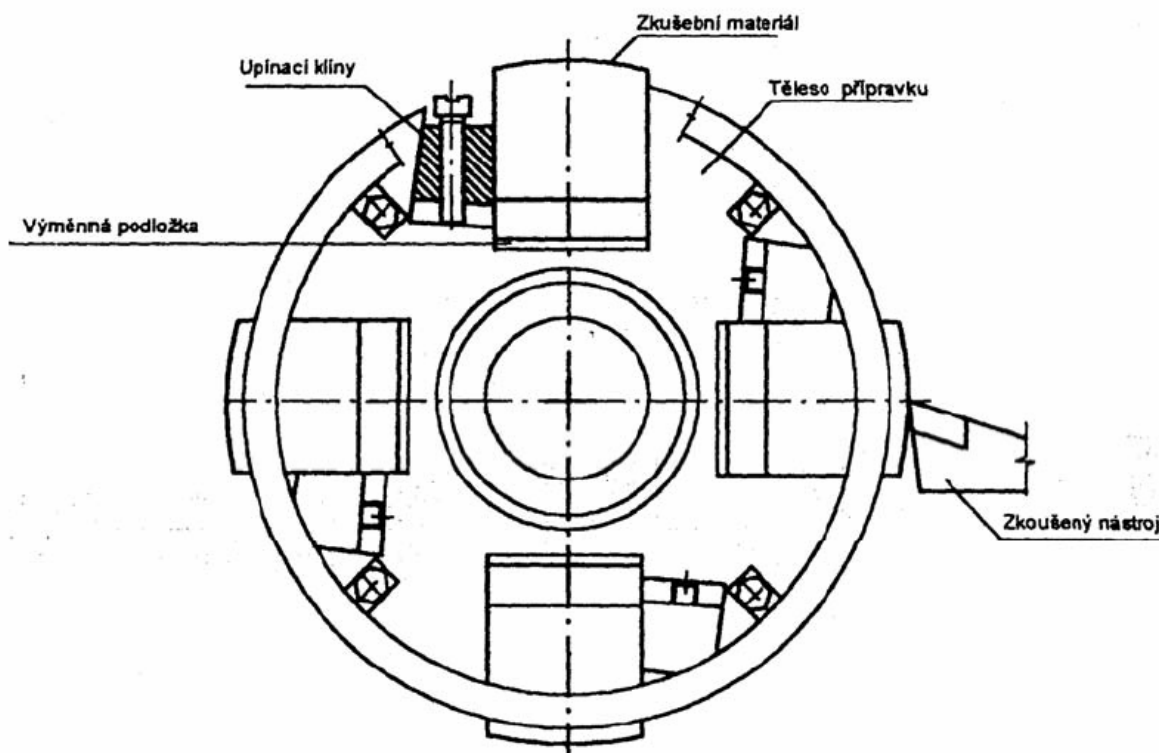


Obr. 2.10 Klasifikace typů opotřebení břitů nástrojů [4]

3. Experimentální testování nástrojů

3.1 Test VBD podélným soustružením (lišťový test)

Přípravek použitý pro tento způsob testování je válec upnutý z jedné strany do sklíčidla soustruhu a z druhé strany hrotem v pinole koníku. Ve válci jsou vyfrézované 4 drážky o rozměru 60 x 48 x 600 mm do kterých se vkládají lišty. Lišty se upínají pomocí sady upínacích klínů a podkládají se vyměnitelnými podložkami, aby nedošlo k jejich uvolnění odstředivými silami při vysokých otáčkách vřetene. Během jedné otáčky působí na břit testované destičky 4 rázy. Při zkoušce se testovaný nástroj posouvá v podélném směru od hrotu ke sklíčidlu obráběcího stroje. Přípravek byl vykonstruován pro řeznou rychlost do $v_c = 120 - 400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Tato řezná rychlost pokrývá oblast použití SK a dolní rozsah řezné keramiky [1, 8].



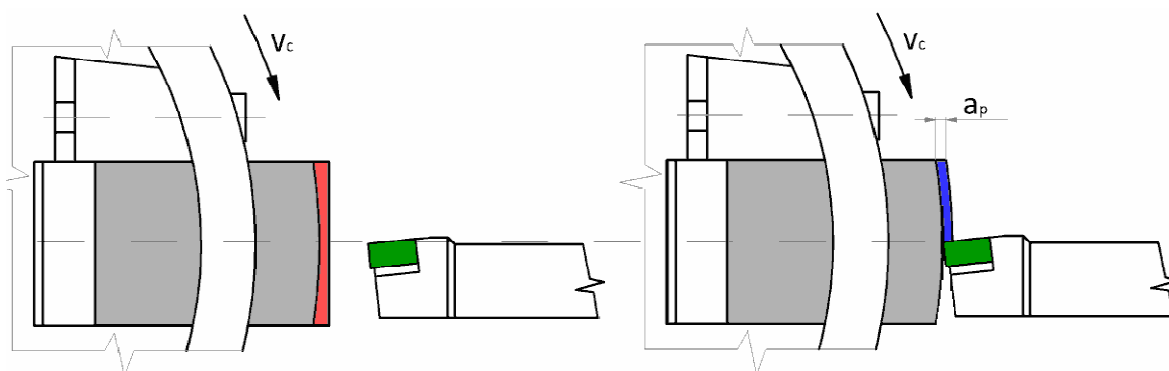
Obr. 3.1 Schéma lišťového testu [9,10]

3.1.1 Sestavení přípravku

Po upnutí celého přípravku do soustruhu se do něj vloží lišty z testovaného materiálu a zajistí se pevné upnutí. Upnutí se zajistí klínovými čelistmi, které musí zachytit odstředivou sílu. Klíny jsou z jedné strany zešíkmeny. Přítlačná síla působící na lišty vzniká odtlačováním šroubů, kterými se klíny utahují. Lišty se mohou snadno vyměnit a tím používat různé obráběné materiály. Na čelech přípravku jsou přišroubované pojistné kroužky z důvodu bezpečnosti. Pojistné kroužky zamezují zranění obsluhy a materiálovým škodám při nedostatečném upnutí lišt v přípravku a působení odstředivé síly [1].

3.1.2 Úprava lišt před měřením

Lišty jsou po odsoustružení vrstvy podkládány speciálními vyměnitelnými podložkami z důvodu zajištění konstantní řezné rychlosti. Podložením lišt podložkami se zajistí obrábění materiálu na stále stejném průměru. Pro zajištění úběru konstantní hloubky třísky se musí odřezat první hloubka třísky ještě před samotným testováním (obr. 3.2). Touto úpravou se zajistí vyvážení proti rozkmitání soustavy, protože vzdálenost lišt od středu obrábění bude konstantní. První tříska pro úpravu lišt není ve výsledcích měření uvedena [1].



Obr. 3.2 Úprava lišt před vlastním měřením [11]

3.2 Materiál vyměnitelných lišt

Materiálem lišt byla zvolena ocel 15 128 (13MoCrV6). Jedná se o ocel nízkolegovanou, feriticko-magnetickou. Tato ocel je žárovevná a je určena pro energetická a chemická zařízení s provozním médiem do 580°C. Její příznivou vlastností je odolnost proti účinkům vodní páry a vodíku.

Tab. 3.1 Mechanické vlastnosti oceli 15 128 (13MoCrV6)

Rp 0,2 [MPa]	Rm [MPa]	A5 [%]	Tvrdost [HB]	E [GPa]
294	470-640	17	135-183	214

Tab. 3.2 Chemické složení oceli 15 128 (13MoCrV6) v [%]

C	Mo	Mn	Si	P	S	V	Cr	Al
0,1	0,4	0,45	0,15	Max	Max	0,22	0,5	0,025
-	-	-	-	0,04	0,04	-	-	
0,18	0,6	0,7	0,4			0,35	0,75	



Obr. 3.3 Vyměnitelné lišty z materiálu 15 128 (13MoCrV6)

3.3 Obráběcí stroj

Testování bylo prováděno na soustruhu CMM SLIVEN bulharské výroby (obr. 3.4). Soustruh umožňuje plynulou změnu otáček a dobře tlumí rázy vzniklé od přerušovaného řezu. Otáčky dosahují maximální hodnoty 2000 min^{-1} a maximální výkon elektromotoru činí 6 kW.



Obr. 3.4 Soustruh CMM SLIVEN

3.4 Vyhodnocovací zařízení

Vyhodnocování stavu ostří nástroje probíhalo pomocí mikroskopu INTRACOMICRO, který je propojen s počítačem, má polarizační jednotku, digitální kameru a přídavné světlo pro dostatečné osvětlení zkoumané VBD. Počítač je vybaven softwarem IMPOR 5 pro přímé kótování geometrických parametrů. Testované VBD byly zvětšeny 3 až 5x, vyfotografovány a zdokumentovány.



Obr. 3.5 Mikroskop INTRACOMICRO [13]

3.5 Řezné parametry

Pro testování VBD byli zvolené řezné parametry dle výrobce destiček a dle zkušeností školitele. Pro konstantní hloubku řezu, pro 2 rozdílné řezné rychlosti a otáčky se postupně měnil posuv nástroje v daném rozmezí dle tab. 3.3. Hodnoty řezných parametrů se také odvíjely od přípravku, na kterém se obráběl průměr $D = 260 \text{ mm}$.

Tab. 3.3 Použité řezné parametry

Posuv f [mm]	0,15	0,2	0,25	0,3	0,15	0,2	0,25	0,3
Řezná rychlost v [m.min ⁻¹]	408				580			
Otáčky n [min ⁻¹]	500				710			
Hloubka řezu a_p [mm]	1							

3.6 Testované materiály VBD

Materiály VBD z řezné keramiky zvolené pro testování byly od společnosti TaeguTec ČR s.r.o. Tato společnost je součástí mezinárodní skupiny výrobců nástrojů na obrábění IMC Group. Dodává především řezné nástroje a destičky značky **TaeguTec** a **Innotool**, ale nabízí i osvědčené produkty dalších výrobců (Wohlhaupter, KFH, Wexo, Mimatic) a také dílenské vybavení provozů (Lista). Destičky od této společnosti jsou z keramiky oxidové, nitridové, ale v nabídce jsou i některé povlakované druhy RK [14].

V našem případě jsme použili pouze 2 druhy oxidové keramiky od této firmy a to keramiku bílou (AW20) a černou (AB30). Oba druhy těchto destiček mají aplikační skupiny použití *K* a *H* dle ISO 513:2002. Destičky mají normalizovaný tvar SNGN 120712.

Skupina *K* je určena pro obrábění materiálů s krátkou drobivou třískou, tj. zejména litiny (temperovaná a s globulárním grafitem). Řezné síly jsou relativně nízké a převládá abrazivní a adhezní opotřebení [1].

Skupina *H* je určena na obrábění kalených a vysoce tvrdých ocelí a tvrzených kalených litin [1].



Obr. 3.6 Testované VBD

3.7 Řezná geometrie

Pro testované destičky, které mají normalizovaný tvar SNGN 120712 byl zvolen nástrojový držák a geometrie obrábění dle normy ISO 3685 – Tool Life Testing of Single Point Turning Tools [15].

Geometrie nástroje z ŘK:

- Úhel čela $\gamma_0 = -6^\circ$
- Úhel hřbetu $\alpha_0 = 6^\circ$
- Úhel sklonu ostří $\lambda_s = -6^\circ$
- Úhel nastavení hlavního ostří $\kappa_r = 75^\circ$
- Úhel špičky $\varepsilon_r = 90^\circ$

Nástrojový držák použitý pro testované VBD byl CSRNR 25x25M12-K



Obr. 3.7 Nástrojový držák CSRNR 25x25M12-K

4. Vyhodnocení testů

4.1 Sledování počtu rázů

Sledovaným parametrem byl počet rázů, který nástroj vydrží do lomu. S rostoucí řeznou rychlostí klesá počet vykonaných rázů. Počet rázů klesá i s rostoucím posuvem [1].

Lom břitu nástroje se projevil okamžitou změnou zvuku obrábění a jiskřením z místa dotyku nástroje a obrobku. Vylomení břitu mělo výrazný vliv na drsnost obráběného povrchu a růstu teploty v místě dotyku.

Vzorec pro výpočet rázů:

$$R = \frac{n \cdot l}{f} \quad [-]$$

kde: R počet rázů $[-]$

n počet lišt v přípravku ($n = 4$) $[-]$

l obrobená délka $[mm]$

f posuv nástroje $[mm]$

Příklad výpočtu:

$$R = \frac{n \cdot l}{f} = \frac{4 \cdot 225}{0,15} = 6000 \quad [-]$$

Tab. 4.1 Posuv a obrobená délka pro daný počet rázů

Posuv f [mm]	Obrobená délka l [mm]	Počet rázů R [-]
0,15	225	6000
0,2	300	
0,25	375	
0,3	450	

4.2 Vyhodnocení testů jednotlivých destiček

Měřené destičky AW20 a AB30 byli popsány písmeny a čísla (viz. obr. 4.1). Při zkoušce bylo použito několik destiček z jednoho plata a u každé měřené destičky byli testované 2 protilehlé řezné hrany, které jsou v tabulkách nazvány jako hrana č.1 a hrana č.2. Měření probíhalo 3x a v tabulkách jsou uvedené aritmetické průměry hodnot. Počet rázů uvedený v tabulkách je přepočítán podle obrobené délky.

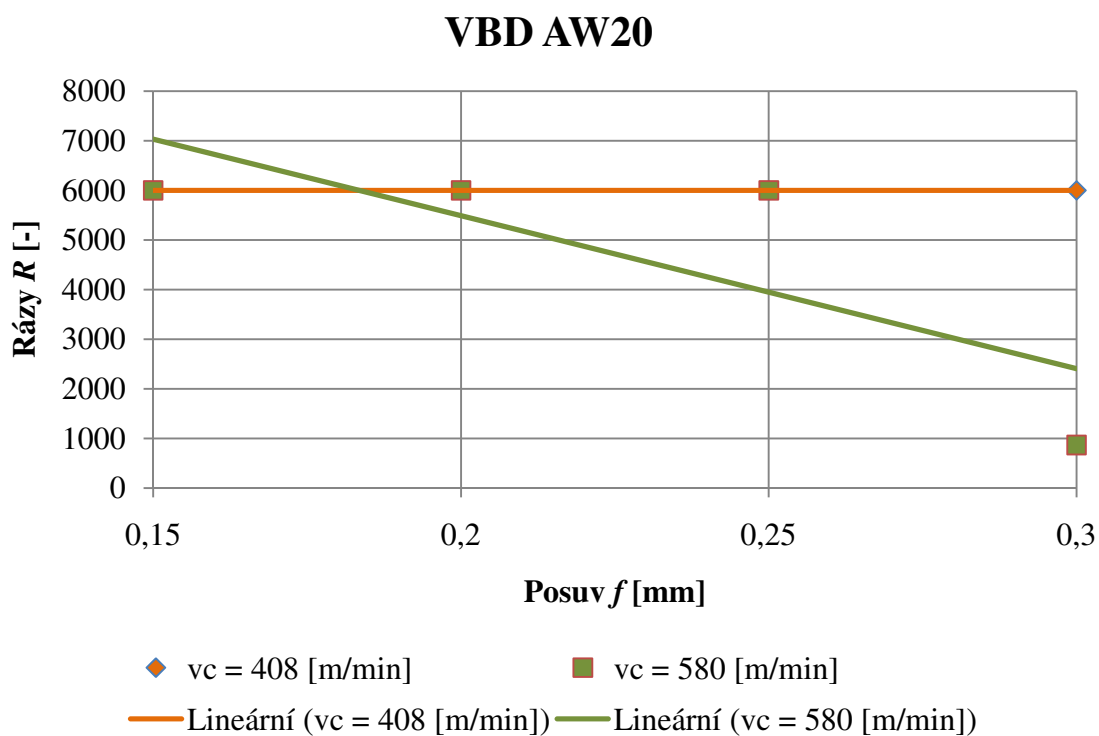


Obr. 4.1 Fotografie popsaných VBD AW20 po testech

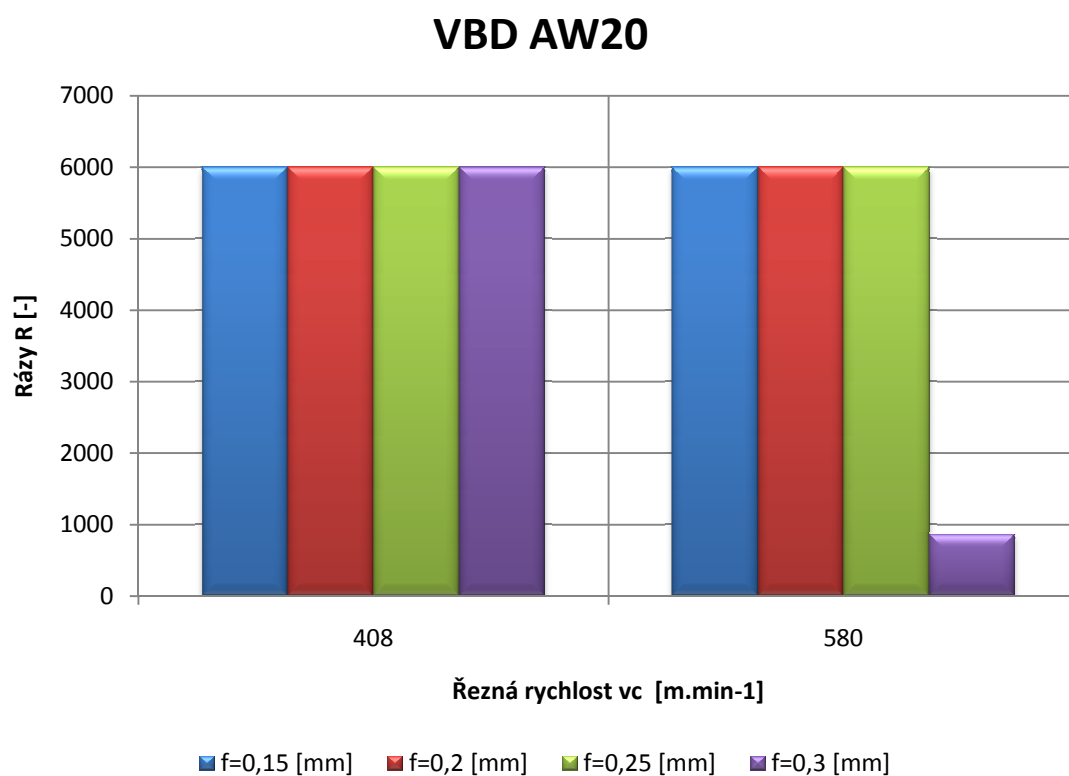
4.2.1 Testované VBD AW20

Tab. 4.2 Naměřené hodnoty u destiček AW20

Taegu Tec SNGN 120712, SNG 453 AW20					
vc = 408 [m.min ⁻¹]	f [mm]	l [mm]	R [-]	hrana	destička
	0,15	225	6000	1	1
	0,2	300	6000	2	
	0,25	375	6000	1	2
	0,3	450	6000	2	
vc = 580 [m.min ⁻¹]	f [mm]	l [mm]	R [-]	hrana	destička
	0,15	225	6000	1	3
	0,2	300	6000	2	
	0,25	375	6000	1	4
	0,3	65	867	2	



Obr. 4.2 Graf závislosti počtu rázů u VBD AW20 na posuvu nástroje



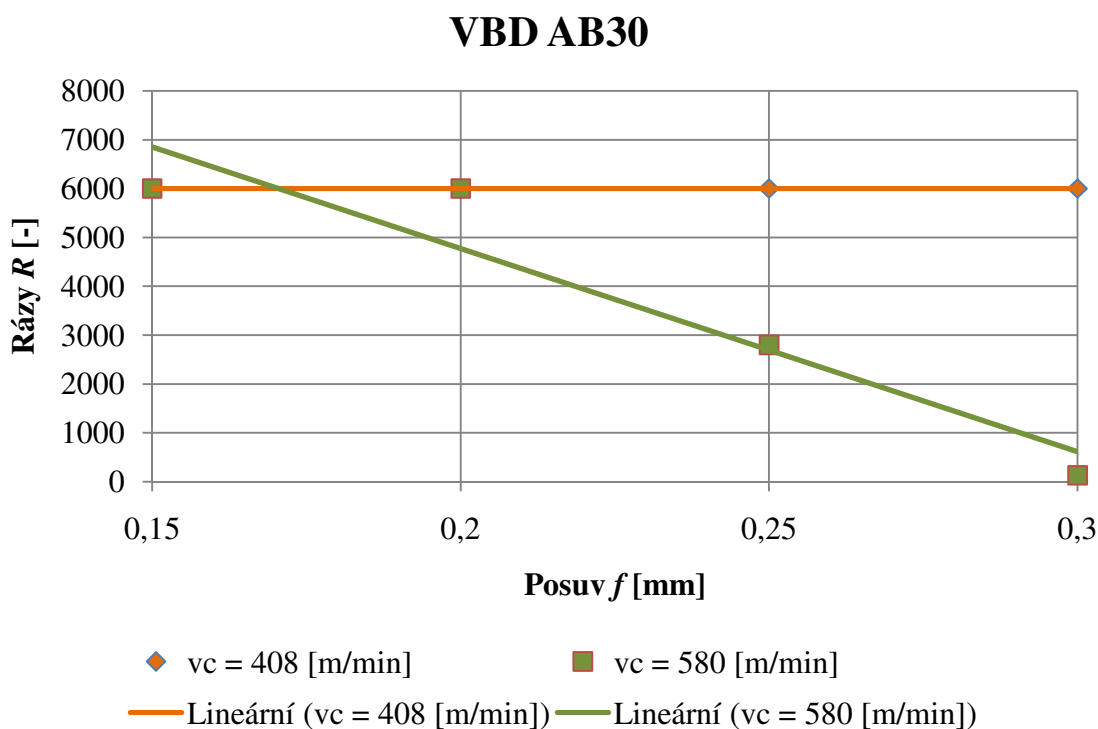
Obr. 4.3 Porovnání počtu rázů na řezné rychlosti nástroje u destičky AW20 při různých posuvech

Z grafu na obr. 4.2 a obr. 4.3 lze pozorovat, že počet rázů s rostoucím posuvem a řeznou rychlostí klesá. Při menších posuvech vydrží břit nástroje více rázů. U destičky AW20 č.4 nevyhověla pouze jedna hrana, která byla testována při posuvu $f = 0,3 \text{ mm}$ a řezné rychlosti $v_c = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

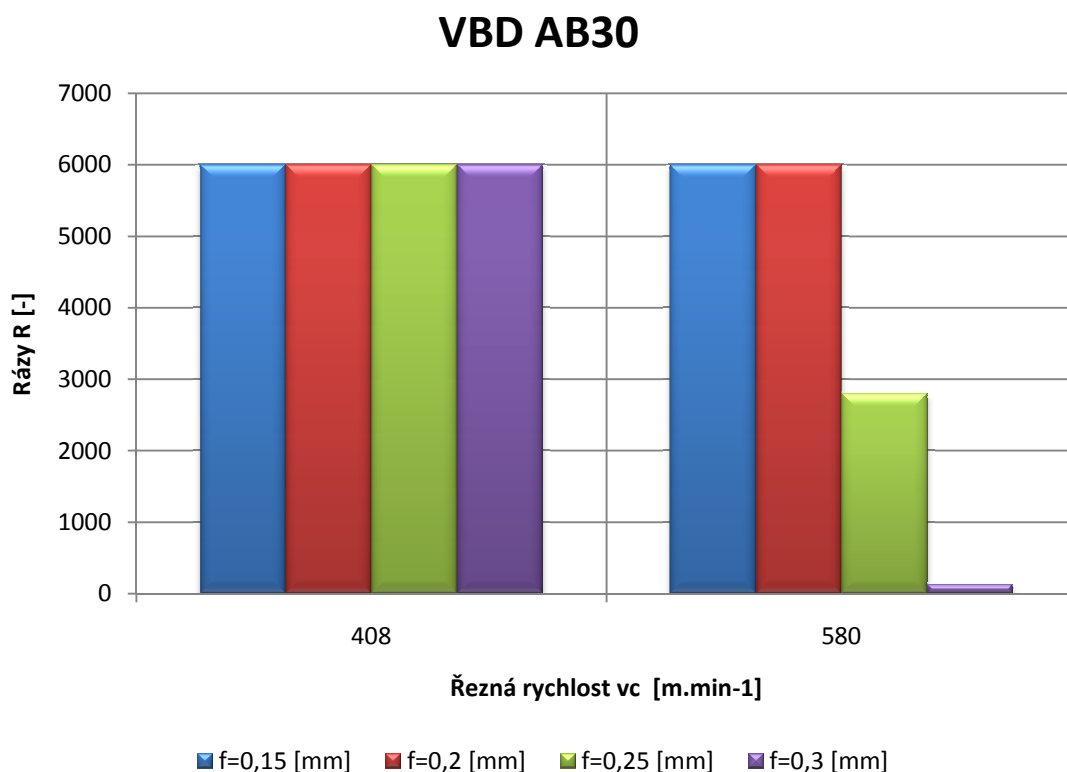
4.2.2 Testované VBD AB30

Tab. 4.3 Naměřené hodnoty u destiček AB30

Taegu Tec SNGN 120712, SNG 453 AB30					
$v_c = 408 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$	$f \text{ [mm]}$	$l \text{ [mm]}$	$R \text{ [-]}$	hrana	destička
	0,15	225	6000	1	1
	0,2	300	6000	2	
	0,25	375	6000	1	2
	0,3	450	6000	2	
$v_c = 580 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$	$f \text{ [mm]}$	$l \text{ [mm]}$	$R \text{ [-]}$	hrana	destička
	0,15	225	6000	1	3
	0,2	300	6000	2	
	0,25	175	2800	1	4
	0,3	10	133	2	



Obr. 4.4 Graf závislosti počtu rázů u VBD AB30 na posuvu nástroje

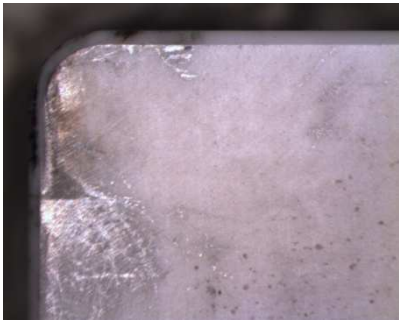
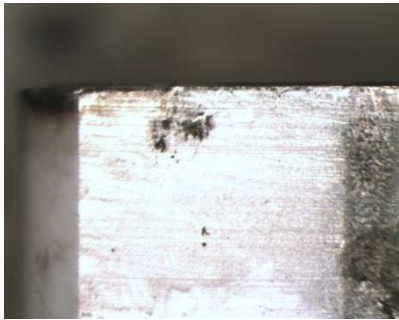


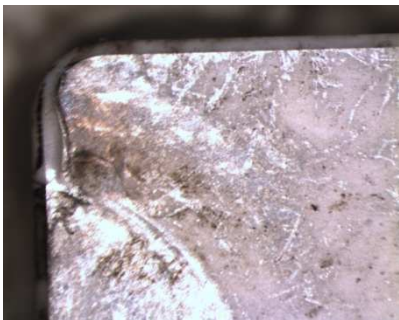





Obr. 4.5 Porovnání počtu rázů na řezné rychlosti nástroje u destičky AB30 při různých posuvech









Z grafu na obr. 4.4 a obr. 4.5 lze pozorovat, že při řezné rychlosti $v_c = 580 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ nevyhověla daným podmínkám destička č.4, která se testovala při posuvu $f = 0,25 \text{ mm}$ a $f = 0,3 \text{ mm}$. VBD AB30 jsou tedy náchylnější na působení rázů než VBD AW20.

4.3 Fotografie testovaných destiček









Tab. 4.4 Fotografie a řezné parametry VBD AW20 č.1 a č.2 při $v_c = 408 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$

VBD, řezné parametry	Čelo nástroje	Hřbet nástroje
AW20, č.1 $R = 6000 [-]$ $v_c = 408 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,15 \text{ [mm]}$ Hrana č.1		
AW20, č.1 $R = 6000 [-]$ $v_c = 408 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$ Hrana č.2		
AW20, č.2 $R = 6000 [-]$ $v_c = 408 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,25 \text{ [mm]}$ Hrana č.1		
AW20, č.2 $R = 6000 [-]$ $v_c = 408 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,3 \text{ [mm]}$ Hrana č.2		

Tab. 4.5 Fotografie a řezné parametry VBD AW20 č.3 a č.4 při $v_c = 580 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$

VBD, řezné parametry	Čelo nástroje	Hřbet nástroje
AW20, č.3 $R = 6000 [-]$ $v_c = 580 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,15 \text{ [mm]}$ Hrana č.1		
AW20, č.3 $R = 6000 [-]$ $v_c = 580 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$ Hrana č.2		
AW20, č.4 $R = 6000 [-]$ $v_c = 580 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,25 \text{ [mm]}$ Hrana č.1		
AW20, č.4 $R = 867 [-]$ $v_c = 580 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,3 \text{ [mm]}$ Hrana č.2		

Tab. 4.6 Fotografie a řezné parametry VBD AB30 č.1 a č.2 při $v_c = 408 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$

VBD, řezné parametry	Čelo nástroje	Hřbet nástroje
AB30, č.1 $R = 6000 [-]$ $v_c = 408 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,15 \text{ [mm]}$ Hrana č.1		
AB30, č.1 $R = 6000 [-]$ $v_c = 408 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$ Hrana č.2		
AB30, č.2 $R = 6000 [-]$ $v_c = 408 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,25 \text{ [mm]}$ Hrana č.1		
AB30, č.2 $R = 6000 [-]$ $v_c = 408 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,3 \text{ [mm]}$ Hrana č.2		

Tab. 4.7 Fotografie a řezné parametry VBD AB30 č.3 a č.4 při $v_c = 580 [m \cdot min^{-1}]$

VBD, řezné parametry	Čelo nástroje	Hřbet nástroje
AB30, č.3 $R = 6000 [-]$ $v_c = 580 [m \cdot min^{-1}]$ $a_p = 1 [mm]$ $f = 0,15 [mm]$ Hrana č.1		
AB30, č.3 $R = 6000 [-]$ $v_c = 580 [m \cdot min^{-1}]$ $a_p = 1 [mm]$ $f = 0,2 [mm]$ Hrana č.2		
AB30, č.4 $R = 2800 [-]$ $v_c = 580 [m \cdot min^{-1}]$ $a_p = 1 [mm]$ $f = 0,25 [mm]$ Hrana č.1		
AB30, č.4 $R = 133 [-]$ $v_c = 580 [m \cdot min^{-1}]$ $a_p = 1 [mm]$ $f = 0,3 [mm]$ Hrana č.2		

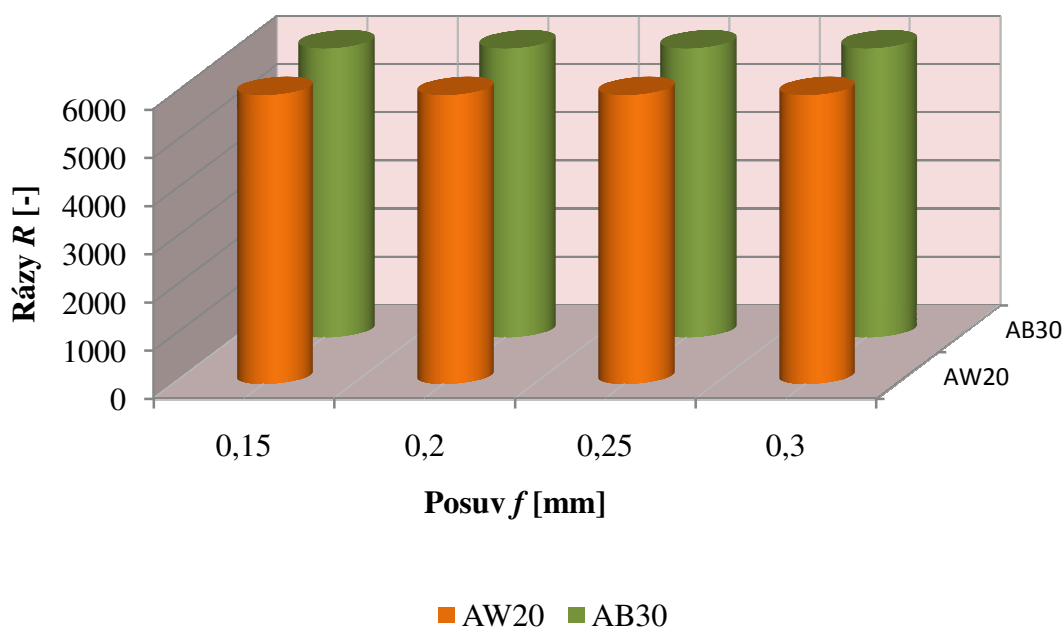
5. Porovnání a zhodnocení všech testovaných VBD

V následujících grafech jsou porovnávány testované destičky AW20 a AB30 od firmy TaeguTec. Nejprve jsou porovnány oba typy destiček při rozdílných řezných rychlostech. V grafu na obr. 4.6 jsou znázorněné hodnoty počtu rázů v závislosti na posuvech nástroje a to při nižší řezné rychlosti ($v_c = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$), která zajistila vyhovění všech měřených destiček z hlediska působení počtu rázů. V grafu na obr. 4.7 jsou pak zobrazeny stejné hodnoty, ale při vyšší řezné rychlosti ($v_c = 580 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$), která ovlivnila podstatně rychlejší opotřebení břitu nástroje. Na obr. 4.8 je graf, který porovnává počty rázů pro obě řezné rychlosti, a který ukazuje na to, jakým výrazným způsobem ovlivňuje trvanlivost břitu nástroje změna řezné rychlosti.

Dle grafů lze říci, že z obou testovaných destiček se nejvíce hodí typ AW20 pro soustružení v přerušovaném řezu.

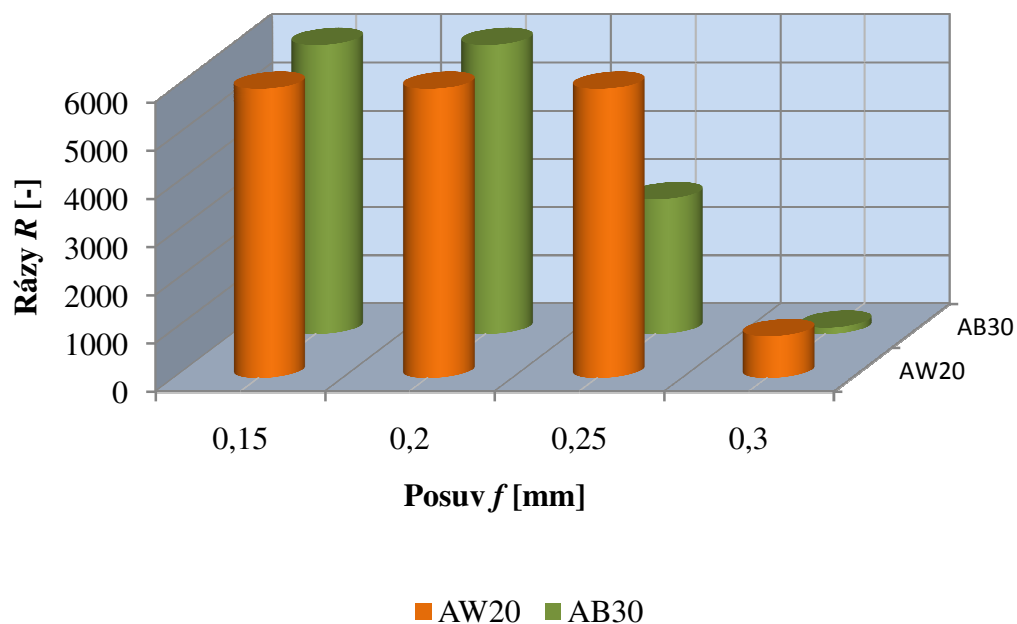
Při použití VBD z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu je dle uvedených hodnot v tabulkách a grafech vhodnější pro delší trvanlivost nástroje volit nižší řezné rychlosti a menší posuv nástroje.

Porovnání destiček AW20 a AB30 při $v_c = 408 \text{ [m/min]}$



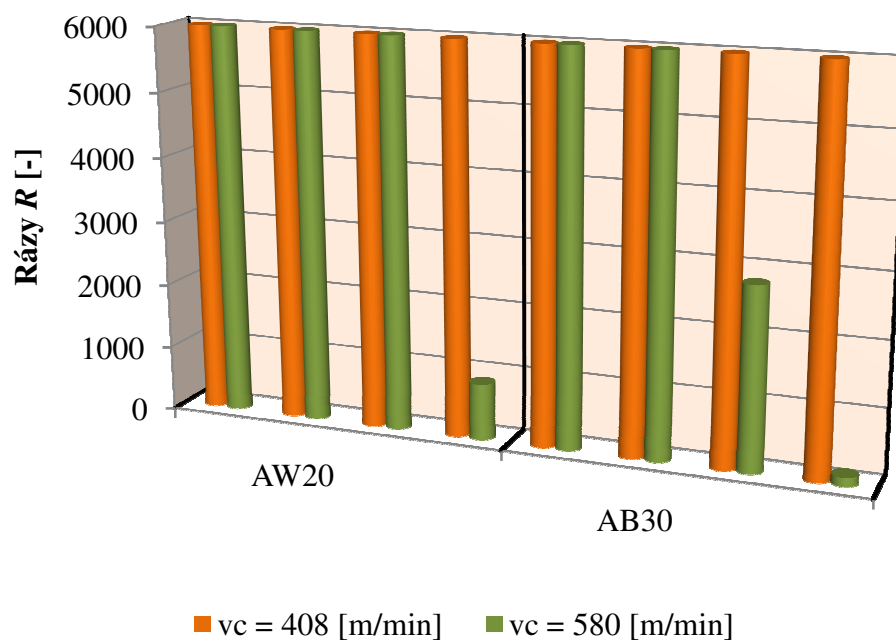
Obr. 4.6 Porovnání počtu rázů na posuvu nástroje u jednotlivých destiček při $v_c = 408 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$

Porovnání destiček AW20 a AB30 při $v_c = 580$ [m/min]



Obr. 4.7 Porovnání počtu rázů na posuvu nástroje u jednotlivých destiček při $v_c = 580$ [m.min⁻¹]

Porovnání destiček AW20 a AB30



Obr. 4.8 Porovnání testovaných destiček při rozdílných řezných rychlostech

6. Závěr

Tato bakalářská práce byla zaměřena na testování nástrojů z řezné keramiky na simulátoru v přerušovaném řezu. Nástroje z řezné keramiky byli VBD od firmy TaeguTec. Testovány byly 2 typy VBD z oxidové keramiky (AW20 a AB30). Testovaným materiálem byla nízkolegovaná ocel 15 128 (13MoCrV6).

Testy byly prováděny na simulátoru přerušovaného řezu při podélném soustružení za konstantní hloubky třísky $a_p = 1[\text{mm}]$, řezné rychlosti $v_c = 408 [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$, $v_c = 580 [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$ a při posuvech v rozmezí $f = 0,15$ až $0,3 [\text{mm}]$.

Pozorovaným parametrem byl počet rázů R , který byl přepočítán podle obrobené délky na materiálu lišt v přípravku. Požadovaný počet rázů $R = 6000$ vydrželi oba typy zkoušených VBD pouze při použití nižší řezné rychlosti ($v_c = 408 [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$). Vyšší řezná rychlost ($v_c = 580 [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$) způsobila menší výdrž působících rázů a zvýšila rychlost opotřebení.

Výsledky měření byly zpracovány do tabulek, ze kterých se zhotovily grafy pro vyobrazení změn ve výdrži rázů způsobené různými řeznými parametry při testování.

Nejlepší výsledky dosáhli VBD AW20, a proto se hodí do podmínek přerušovaného řezu více než druhé testované VBD AB30, i když ani jeden typ není určen pro přímé nasazení do přerušovaných řezů.

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Robertu Čepovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při vypracování této bakalářské práce.

7. Použitá literatura:

- [1] ČEP, Robert. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu*: Disertační práce. Ostrava: FS VŠB-TUO, 2005, 101 s.
- [2] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I, Technologie obrábění- 1. část*. Brno : VUT Brno, 2003. 138 s.
- [3] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-5.
- [4] Brychta, J.; Čep, R.; Nováková, J.; Petřkovská, L. *Technologie II – 1. díl*. Ostrava : FS VŠB – TU Ostrava, 2007. 122 s. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [5] MRKVICA, Ivan. *Návody ke cvičení z obráběcích nástrojů - 1. část*. Ostrava : VŠB - TU Ostrava, 1999. 142 s. ISBN 80-7078-624-8
- [6] KUDELA, Miroslav. *Příručka obrábění : kniha pro praktiky*. Praha : Scientia, 1997 - [1470] s.
- [7] JURKO, Jozef; ZAJAC, Jozef; ČEP Robert. *Top trendy v obrábění 2. část – Nástrojové materiály*. Žilina: MEDIA/ST Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [8] BILÍK, O.; VLČEK, M. *Testování nástrojových materiálů s vyšší křehkostí v podmínkách přerušovaného řezu : Zpráva o řešení interního grantového projektu za rok 2000*. Ostrava : FS VŠB – TU Ostrava, 2000. 22 s.
- [9] BILÍK, Oldrich; VLČEK, Milan. *Spolehlivost nástrojových materiálů s vyšší křehkostí v podmínkách přerušovaného řezu: zpráva o řešení grantového projektu za rok 1998*. Ostrava: FS VŠB-TU Ostrava, 1998. 22 s.
- [10] MRKVICA, Miloš; BILÍK, Oldrich; SIKORA, Roman. *Závěrečná zpráva o řešení grantového projektu GACR c.101/93/0129 za rok 1993-1995*. Ostrava: FS VŠB-TU Ostrava, 1995. 34 s.

- [11] REINER, J. Zkoušky nástrojů z řezné keramiky na simulátoru přerušovaného řezu : diplomová práce. Ostrava : FS VŠB – TU Ostrava, 2009. 73 s.

- [12] Taegutec. Příručka obrábění Innotool [online]. Soubor v pdf. [cit. 21.4.2011]. URL < http://www.taegutec.cz/innotool/prirucka_obrazeni_331.pdf >

- [13] ZÁLEŠÁK, M. Zkoušky nástrojů z řezné keramiky na simulátoru přerušovaného řezu : bakalářská práce. Ostrava : FS VŠB – TU Ostrava, 2010. 51 s.

- [14] TaeguTec. Informace o firmě [online]. [cit. 24.4.2011]. URL < <http://www.taegutec.cz> >

- [15] ISO 3685: 1990 - *Tool Life Testing with Single Cutting Tools*. 1990.